

EKONOMISKA OCH TEKNISKA SYNPUNKTER VID STRÖMÅTERVINNING I SPÅRVÄGSDRIFT.

Föredrag av civilingenjör O. Åkerman,
Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget.

På senaste tiden har frågan om regenerativ bromsning å motorvagnar för spårvägsdrift tillvunnit sig förnyat intresse. Detta torde

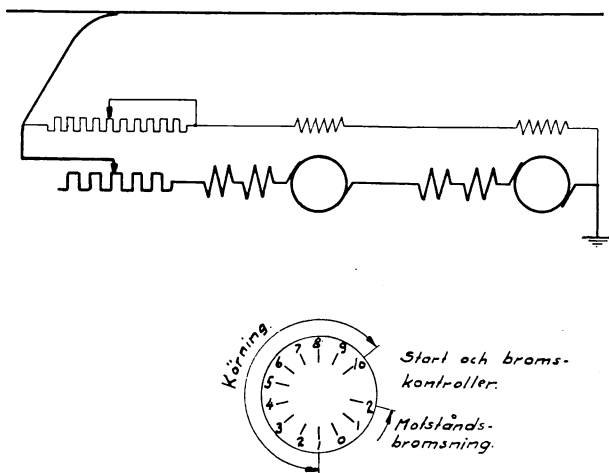


Fig. 1.

delvis ha framkallats genom ett meddelande från generaldirektören vid Paris spårvägar, Bacquerisse, på internationella kongressen i Warszawa i juni 1930. Detta meddelande väckte speciellt intresse därigenom, att det antydde, att Paris spårvägar hade under övervägande att ombygga 2,350 gamla motorer samt bygga 695 nya vagnar enligt de kopplingsprinciper, som lågo till grund för Bacquerisse koppling.

Med denna kopplingsanordning, som bygger på komppoundmotorer, skulle med ombyggda motorer i Paris på sträckan Porte St. Cloud—Versailles ha återvunnits 30 % av den totalt förbrukade effekten, men beräknades effektbesparingar av upp till 50 % kunna uppnås genom diverse förbättringar. I övrigt utmärker sig anordningen därigenom,

att endast obetydliga omgrupperingar behöva göras vid övergång från motordrift till generatordrift och omvänt. Motorerna ligga hela tiden i serie och samma kontrollerlägen användas för körning och bromsning (fig. 1).

Dessa uttalanden ledde till en internationell kongress i Paris den 20 okt. f. å. med 200 medlemmar från ett flertal europeiska länder,

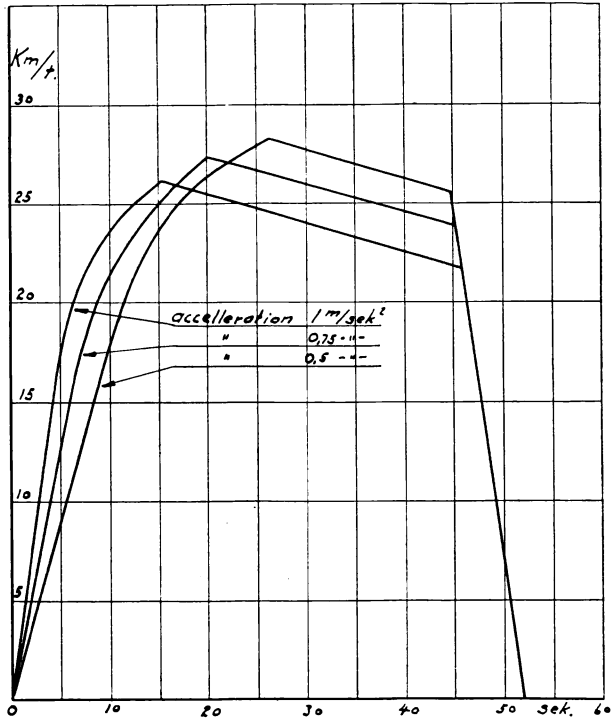


Fig. 2.

där hithörande frågor voro under diskussion och praktiska prov utfördes.

Då en skillnad i verkningsgraden å drivmotorer och omformaremaskineri av bara en eller annan procent tillmätas stor vikt, är det utan vidare klart, att en effektbesparing av den storleksordning det här är fråga om måste vara av största betydelse, om den kunde vinnas utan uppoffrande av väsentliga fördelar på annat håll, alltså utan att motorer eller apparater avsevärt kompliceras eller komma att arbeta under försämrade förhållanden.

En god uppfattning om vad som teoretiskt borde kunna sparas, erhåller man, om man studerar de olika faktorer, som bestämma den

totala energiåtgången hos en spårvagn, varvid följande uppdelning lämpligen kan göras.

1. Den energi, som representeras av vagnens gångmotstånd, såsom friktionsförluster, stötförluster, etc. För en spårvagn uppgår detta motstånd i regel till 6 à 8 kg. per ton vagnsvikt. I det följande räknas med ett medelvärde av 7 kg.

2. Den energi, som åtgår för att accelerera vagnen eller med andra ord vagnens levande energi, som representeras av uttrycket $\frac{mv^2}{2}$.

3. Den energi, som erfordras för lyftning av vagnen i uppførsbackar.

Den energi, som erfordras för täckande av vagnens gångmotstånd (1), kan ju icke genom några åtgärder i regenerativt syfte nedbringas. Här kommer andra energibesparande anordningar ifråga, såsom införande av rullager i axelboxarna etc.

Redan utan användande av regenerativ bromsning kan en del av den levande energien (2), som tillföres under starten, återvinnas genom lämplig körteknik. Detta åstadkommes ju, som väl bekant är, på så sätt att vagnen hastigast möjligt startas upp till full hastighet och därefter får löpa ut till en lägre hastighet, innan bromsarna sätts till. Givetvis är det aldrig möjligt att fullt effektivt utnyttja denna möjlighet, då den alltid blir beroende av förarens skicklighet och av de hinder i gatutrafiken, som tvinga föraren att ofta frångå det mest ekonomiska körsättet. I varje fall är det aldrig möjligt att på detta sätt utvinna mer än en del av den levande energi, som under startperioden tillföres vagnen, då ju utlöpningsperioden i regel blir kortvarig — fig. 2.

Vid igångsättning med normala accelerationer kan hastigheten vid bromsarnas tillslagning uppskattas till i medeltal ca 80 % av maximalhastigheten. Den levande energi, som motsvarar denna hastighet, går alltså förlorad, om ej regenerativ bromsning kommer till användning.

Vad beträffar lyftenergien (3), så återvinnes ju denna i regel till en del, då vagnen kommer in i lutningar, enär härvid motorströmmen kan slås ifrån. Vad som förloras, motsvarar den energi, som måste utbromsas, för att ej vagnens hastighet skall bli otillåtet stor. Vid regenerativ bromsning kan denna energi tillvaratas. Hur stor den är, blir alltid beroende av terrängens beskaffenhet och varierar alltså från fall till fall. Ett värde av storleksordningen 10 % av den totala energitillförseln torde vara ett gott genomsnittsvärde.

Om man utgår från ett medelavstånd mellan hållplatserna av 300 m. samt en maximalhastighet av 30 km/t., blir den totala energiförbrukningen vid en genomsnittlig motorverkningsgrad av 85 % samt vid serie-parallell-körning: —

	Avgiven effekt på motoraxlarna wath/tonkm.	Tillförd effekt till motorerna wath/tonkm.
I. För övervinnande av gångmot- stånd	19	23
II. För den del av vagnens le- vande energi, som utbromsas	20,5	24
III. För den del av lyftenergien, som utbromsas	6	7
Summa:	45,5	54 wath/tonkm.
För täckande av förlusterna i startmotstånden åtgå	—	7 »
Total energiförbrukning å kon- taktledningen	—	61 wath/tonkm.

Vid regenerativ bromsning stå, som av tabellen framgår, $20,5 + 6 = 26,5$ wath. per tonkm. till förfogande å motoraxlarna för återbromsning. Om vi utgå från att den levande energien kan återbromsas endast ned till 10 km/t., måste denna siffra emellertid sänkas till 23 wath/tonkm. Under förutsättning att bromsningen kan ske utan inkoppling av motstånd i armaturkretsen, skulle härav, om hänsyn toges till motorverkningsgraden, c:a 19 wath/tonkm. kunna återföras till kontaktledningen. Man skulle alltså kunna spara 31 % av den effekt, som tillföres under körperioden. Givet är, att en väsentligt högre siffra skulle erhållas, om maximalhastigheten vore högre. Redan vid en ökning av maximalhastigheten till 35 km/t. skulle återvinnningen stiga till c:a 37 %. Man får emellertid ej glömma, att de anordningar, som erfordras för den regenerativa bromsningen, alltid taga en större eller mindre effekt, vilken nedsätter återbromsningens storlek.

Så mycket framgår emellertid av den approximativa undersökning för ett visst specialfall, som ovan utförts, att frågan om regenerativ bromsning är av stor ekonomisk räckvidd, som skymmer undan de mer blygsamma besparingar, som kunna tänkas göras genom förbättrande av verkningsgraden hos motorer, omformaremaskinerier etc.

Vi ha i det föregående utgått från, att den energi, som står till förfogande för återbromsning, verkligen också kan nyttiggöras, vilket ju är förutsättningen för att den beräknade energibesparingen även i praktiken erhålles. Har man motorgeneratorer eller enankaromformare, som mata linjen, är ju detta utan vidare fallet, i det dessa återföra eventuell överskottsenergi till trefasnätet. Har man likriktare, kan däremot något sådant återarbete till trefasnätet ej erhållas, varför återbromsning omöjliggöres, om ej den från en vagn återbromsade effekten kan upptagas av andra vagnar, vilka samtidigt arbeta på nätet. Givet är, att om ett stort antal vagnar samtidigt trafikera linjen, möjligheten att kunna utnyttja den återbromsade effekten från en vagn är större än om endast ett fåtal

vagnar samtidigt äro i gång, ty chansen för att en eller flera vagnar samtidigt skola gå i motordrift är då större. En förutberäkning av hur dessa förhållanden i medeltal komma att gestalta sig, kan på enkelt sätt ske med tillhjälp av en av författaren utarbetad metod, baserad på studium av belastningarnas fördelningsfunktioner. Å fig. 3 är resultatet

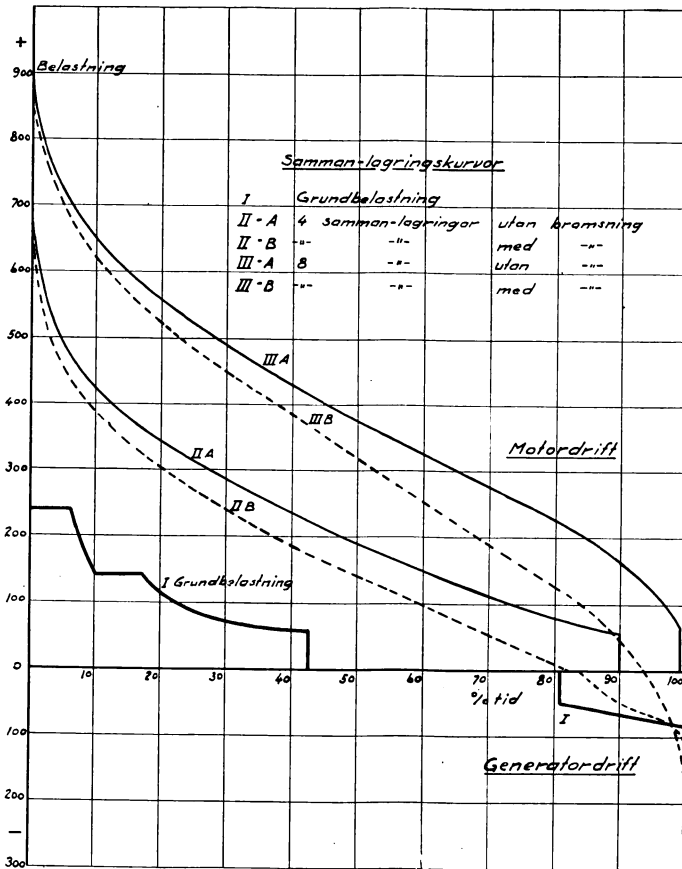


Fig. 3.

av en sådan beräkning genomförd. Kurva I visar belastningen hos en motorvagn beräknad enligt kördiagram, vilken omritats så att belastningarna komma i storleksordning. Den representerar med andra ord belastningens varaktighetsdiagram. Den del av kurvan, som ligger över nollinjen, visar den tillförda effekten i motordrift och den del, som ligger under nollinjen, den återvunna effekten vid bromsning.

Om vi nu först antaga, att ingen återbromsning förekommer, ha vi alltså endast att ta hänsyn till den del av kurvan, som ligger över nollinjen. Om 4 st. vagnar av samma storlek och med samma motorer samtidigt trafikera linjen, kommer den sammanlagrade belastningen av

dess 4 vagnar att få en form, som med största sannolikhet sammanfaller med kurva II-A. Om antalet vagnar i stället är 8 st. blir den sannolika kurvan III-A. Trots att varje vagn har ström endast c:a 40 % av tiden, kommer i kraftstationen på grund av sammanlagringen mellan belastningarna ström att uttagas under c:a 98 % av tiden och belastningen i kraftstationen i övrigt att få karaktären enligt kurva III-A. dock med den skillnaden, att belastningarna i kraftstationen ej bli registrerade i den ordningsföljd, som kurvan visar. » »

Om vi nu räkna med, att även återbromsning användes, varvid alltså kurva I skall medräknas såväl över som under nollinjen, erhålles i stället kurvorna II-B resp. III-B för 4 och 8 vagnar samtidigt i drift. Vi se, att dessa kurvor ligga under de tidigare beräknade. Skillnaden representerar den vinst, som uppstått genom återvinnningen. Vi se vidare, att vid 8 st. vagnar i drift, det är sannolikt, att under c:a 10 % av tiden effekt kommer att återföras till trefasnätet, om motorgeneratorer eller enankaromformare användas. Vid användande av likriktare sättes återvinningsbromsen under denna tid ur funktion och bromsningen måste i stället ske över motstånd, eftersom den återvunna effekten ej kan återföras vare sig till andra vagnar eller till likriktarna.

Om man ökar antalet vagnar ytterligare, minskas dessa tidsperioder snabbt och förhållandena bli även vid likriktare praktiskt taget lika gynnsamma som för motorgeneratorer eller enankaromformare. Då författaren ej sett undersökningar av denna art tidigare publicerade, torde de visade beräkningsresultaten ha ett visst intresse, då de på ett överskådligt sätt klargöra hithörande frågor.

I den tidigare omnämnda kopplingen, lancerad av generaldirektör Bacquerisse, äro motorerna såväl vid motordrift som vid generatordrift ständigt kopplade i serie. Givet är, att en sådan koppling blir väsentligt enklare än om serieparallellkoppling användes. Då det på sina håll gjorts gällande, att ett lika gott körresultat kan uppnås med denna koppling som med serieparallellkoppling, utan att motorerna behöva dimensioneras rikligare, har man emellertid rättighet att ställa sig skeptisk. Då kopplingen under senare tid rätt livligt diskuterats i fackpressen, torde det vara lämpligt att i korthet söka klargöra, i vad mån ett sådant påstående kan anses ha fog för sig, då ju utformningen av det regenerativa bromssystemet blir högst väsentligt enklare, om ständigt seriekopplade motorer kunna accepteras.

Om vi utgå från, att nedbromsning bör ske till ungefär samma hastighet i båda fallen, måste, under förutsättning att motorerna ha lika stora magnetfält, armaturerna ha samma ledartal, vare sig det gäller ren seriekoppling eller serie-parallell-koppling.

Eftersom vid enbart seriekoppling arbetsspänningen å varje motor aldrig är mer än halva linjespänningen, har motorn vid samma ström ej heller mer än halva effekten mot en parallellkopplad motor. För att motorn skall få samma effekt, måste arbetsströmmen fördubblas, vilket

kräver fördubbling av strömsamlarlängden och rotorkopparen eller med andra ord en betydligt större motor.

Gör man nu i stället så, att ledartalet i rotorn minskas till hälften, så kvarstår den större strömsamlaren men rotorkopparen blir i båda fallen ungefär densamma. I detta fall blir emellertid förlusterna i startmotståndet dubbelt så stora, vartill kommer, att lägsta återbromsnings-

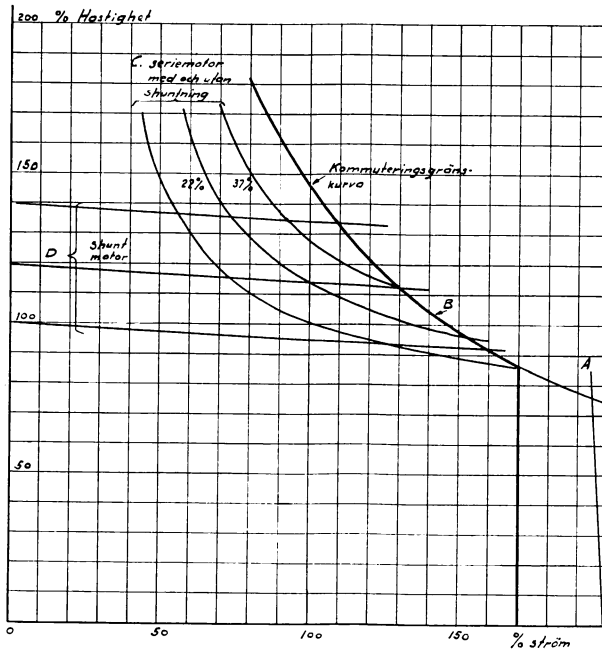


Fig. 4.

hastigheten ungefär fördubblas och återbromsningens effektivitet alltså väsentligt nedbringas.

Mellan dessa två ytterlighetsfall kan genom ändring av fältförhållandena i motorerna erhållas mellanformer, som emellertid i högre eller mindre grad besitta de två ytterlighetsfallens egenskaper, vilka, såsom påvisat, ställa sig väsentligt ogynnsammare än för serieparallellkopplingen.

Genom anordnande av dubbla kuggväxlar, alltså genom ökning av motorhastigheten, är det ju givetvis möjligt att ändock uppnå de siffror man önskar. Men då böra de konstruktiva förhållanden, som härigenom uppstå, även föras in i diskussionen.

Tillsvärdare torde det därför vara klokt att fasthålla vid, att serieparallellkoppling av motorerna är en ekonomisk åtgärd och att man, för det fall man, för att underlätta införande av återbromsning, går in för ständigt seriekopplade motorer, gör klart för sig, att man härvid även minskar effektiviteten hos den rullande materielen. I flertalet

av de kopplingar, om kommit till användning för regenerativ bromsning, äro motorerna under återbromsningsperioden kopplade i serie, även om vid start serie- och parallellkoppling kommer till användning. Lämpligheten härav måste ju bedömas ur samma synpunkt, som i det föregående tillämpats på körperioden. Man får dock i detta fall ej glömma, att vid start med en viss acceleration strömbelastningen å motorerna blir rätt avsevärt större än vid motsvarande retardation vid bromsning, enär i förra fallet effekt måste tillföras dels för gångmotståndets övervinnande, dels för att kompensera drivmotorförlusterna, medan i senare fallet dessa medverka att bromsa vagnen, varför den ström motorerna måste belastas med blir avsevärt mindre.

Otvivelaktigt är emellertid, att även vid bromsning serieparallellkoppling är effektivare. En i alla hänseenden god broms bör därför kunna utnyttja båda kopplingarna även för bromsning. En vagns effektivitet såväl vid körning som bromsning begränsas ytterst av friktionsförhållandena mellan hjul och räls, om man i detta sammanhang frånser skenbromsar och dylika anordningar, som falla utanför ramen för vårt ämne. Som bekant äro dessa friktionsförhållanden sådana, att en större kraft kan appliceras å drivhjulen vid låg hastighet än vid högre hastighet utan att slirning inträffar. I regel dimensioneras väl vanliga spårvägsmotorer så, att adhesionsgränsen vid start uppnås vid en strömbelastning, som ligger vid c:a 200 å 250 %, vilken ström en modern spårvägsmotor under start utan vidare tål med bibehållande av god kommutering. Då kommuteringsförhållandena i stort sett bestämmas av produkten mellan hastighet och ström, bör, för bibehållande av konstanta kommuteringsförhållanden från start till full hastighet strömmen approximativt avtaga efter en hyperbel-kurva

$$I = \frac{c}{v}$$

På grund av deformationer i fältkurvan försämras lamellspänningskurvans form vid låg fältmättning, varför drivmotorernas driftförhållanden i själva verket försämras snabbare än med hastigheten, varför omnämnda hyperbel-kurva nog får anses som den yttersta gräns, inom vilken strömbelastningen bör hålla sig. Givetvis kan denna överläggning endast betraktas som ungefärlig, då även andra faktorer, såsom borstkvälitéer, borsttryck, borsthållarekonstruktioner, etc. utöva inflytande på gränskurvans form. I stort sett torde dock vår hyperbelkurva giva en god uppfattning om den begränsning av spårvagnsutrustning å teknikens nuvarande ståndpunkt är underkastad med hänsyn till de elektriska motorerna.

Å bifogade fig. 4 äro uppritade de i föregående överläggning funna ungefärliga gränserna för vagnens prestationsförmåga, å vilken kurva *A* visar gränsen med hänsyn till adhesionsförhållandena och kurvan *B* gränsen med hänsyn till de elektriska motorerna. Om vi antaga, att vagnen startas å motståndslägena med en viss medelström, som lig-

ger inom såväl adhesionsgränsen som kommuteringsgränsen, kan alltså den med grov linje markerade kurvan approximativt få anses som den i drift tillåtna resulterande belastningsgränsen.

Å samma fig. äro även visade tre hastighetskurvor för en seriemotor, av vilka en med fullt fält och två med fältförsvagning (kurvskara *C*) samt likaledes 3 st. hastighetskurvor för en shuntmotor med olika ströminställningar av fältet (kurvskara *D*).

Vi se genast, att det ej är utan skäl, som seriemotorn fått en dominerande betydelse i traktionär drift, i det dess karaktäristik på ett gynnsamt sätt följer karaktären hos den gränslinje, som tidigare blivit fixerad. Emellertid gör den det icke helt, vilket även bestyrkes av erfarenheten, i det man ju ofta anordnar ett eller två steg fältförsvagning för att bättre kunna utnyttja motorn. Risk förefinnes ju härvid alltid, att föraren använder sig av denna shunningsmöjlighet vid för låg hastighet, varvid, som synes, han riskerar att komma avsevärt utanför den tillåtna gränskurvan. På grund av seriekurvans lämpliga form behövas i regel blott ett eller högst två shuntlägen, varför risken för att föraren skall genom vårdslöst handhavande av shuntningen skada utrustningen, dock i regel blir ganska obetydlig.

Annorlunda ställer det sig med en shuntmotor. Karaktäristiken hos denna motor saknar, som synes, fullständigt de egenskaper, som äro önskvärda i traktionär drift och hastighetsregleringen och därmed belastningskontrollen lägges helt i förarens händer, vilken måste ha ett stort antal regleringssteg till förfogande. Körningen med ren shuntmotor skulle därför kräva stor skicklighet och omdömesförmåga hos föraren.

Om komponderade motorer användas, vilket är fallet vid tidigare nämnda utrustningar för regenerativ bromsning, erhållas mellanformer, som i större eller mindre grad äga shuntmotorernas och seriemotorernas egenskaper och vars hastighetskurvor ligga mellan dessa. Av praktiska skäl är det ej möjligt att ge dessa motorer mer än en relativt svag serielindning, varför deras egenskaper närmast ansluta sig till den rena shuntmotorns karaktäristik. Det är alltså utan vidare klart, att compoundmotorn, om man endast ser på dess lämplighet i motordrift, är vida underlägsen seriemotorn, vilket ju även bekräftats av utvecklingen, vilken givit seriemotorn en obestridd ledareställning på det traktionära området. Vår överläggning har i stället visat, att skulle seriemotorn utbytas mot en lämpligare motor, borde den ha egenskaper, som gick åt rakt motsatt håll, nämligen mot en ännu brantare karaktäristik än seriemotorns, varigenom den nu använda shuntningen bleve överflödig. Vi komma emellertid nu in på den fråga, som givit shuntmotorn en ny chans, trots dess för motordrift mindre lämpliga egenskaper, nämligen den regenerativa bromsningen. Härför lämpar sig shuntmotorn utan vidare, givetvis dock med samma olägenheter ifråga om regleringen som vid motordrift, medan seriemotorn överhuvud taget icke kan användas för ändamålet.

Man måste medge, att detta är en obehaglig situation. Å ena sidan har man en motor, som på ett fullgott sätt tillgodoser kraven på en enkel och effektiv körning och som därjämte väl lämpar sig för en effektiv motståndsbromsning, alltså i stort sett, om man bortser från strömeconomien, är en nära nog idealisk motor.

Å andra sidan har man en motor, som tillåter både motor- och generatordrift, ehuru på ett mindre tillfredsställande sätt, men som kan uppvisa bättre strömekonomi.

Ett stort antal kompromissförslag ha därjämte framkommit och utprovats. Man använder exempelvis seriemotorer vid motordrift och kopplar sedan om serielindningen i shuntkoppling vid generatordrift, varvid antingen magnetiseringsströmmen tages från en separat omformare eller från nätet, i vilket sistnämnda fall en betydande del av den regenerativa effekten förloras i förkopplingsmotstånden till serielindningarna och regleringsstegen bli relativt grova. En god lösning av denna senare koppling beskrevs på årsmötet 1927 av maskiningenjör E. Engdahl. Alla dessa lösningar ha sina förtjänster och nackdelar men äro så tillvida överlägsna komppoundmotorsystemet, att de arbeta med seriemotorer i motordrift och alltså icke släppa de fördelar, som den gamla beprövade utrustningen äger i motordrift. Vid regenerativ bromsning kvarstå dock shuntmotorerna alla olägenheter ännu mer markerade än hos komppoundmotorn, vilken senare har en om också svag seriekaraktäristik, möjligheter till en mer finfördelad reglering, bättre ekonomi och enklare utrustning.

Vid Asea har under senaste tiden utförts försök med en anordning, som möjligen får anses vara ett steg i rätt riktning. Då undersökningarna ännu befinna sig på laboratoriestadiet, är det dock för tidigt att fälla något omdöme om dess värde för praktisk drift. Emellertid torde en redogörelse för anordningen i detta sammanhang ha sitt intresse, då den är utarbetad direkt i anslutning till de synpunkter, för vilka i det föregående redogjorts och vilka därför ytterligare klargöras genom en beskrivning av denna anordning.

Principen för kopplingen framgår av fig. 5.

Drivmotorn är en normal shuntmotor, i vars fältströmkrets inkopplats en frigående motor i serie med shuntlindningen. Denna hjälpmotor är försedd med en fältlindning m_1 genomfluten av drivmotorns armaturström och en fältlindning m_2 separat magnetiserad från linjen. Anordningen påminner i sina huvuddrag alltså om den regleringsanordning med regulatormotor, som Asea utarbetat för konstanthållande av generatorspänningen å vagnsaxeldrivna belysningsgeneratorer.

De båda lindningarna å hjälpmotorns fält äro kopplade så, att de motverka varandra. Vid övergång från motordrift till generatordrift och vice versa kastas alltså strömriktningen om i fältlindningen m_2 samtidigt som storleken av förkopplingsmotståndet ändras.

Som vi i det föregående påpekat, är shuntmotorerna största fel i regle-

ringshänseende det att dess karaktäristik icke har de i traktionär drift önskvärda egenskaperna, varför ett stort antal regleringssteg erfordras och kontrollen lämnas helt i förarens händer. Genom ovan beskrivna anordning har denna olägenhet eliminerats, i det att regulatormotorn automatiskt reglerar drivmotorns fält utan att föraren behöver ingripa. Resultatet blir alltså detsamma som vid användande av en seriemotor. Den effekt, som i ett magnetmotstånd upptages som värme, går i

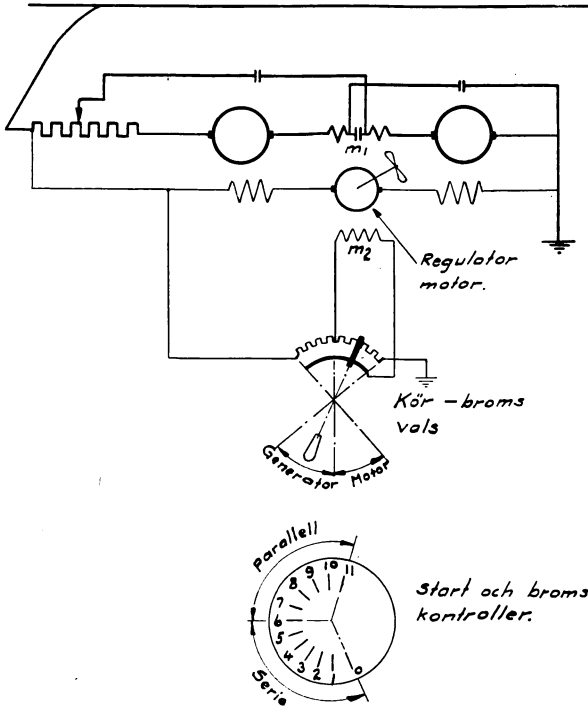


Fig. 5.

detta fall åt att driva motorn runt. Då för spårvagnsmotorer av normal storlek regulatormotorn har att ta upp effekt av en eller annan kilowatt, förses den lämpligen med en fläkt, som absorberar energien och vilken kan utnyttjas för ventilation av drivmotorerna eller av vagnen. Om så önskas, kan överskottsenergien även återföras, varvid regulatormotorn direkt kopplas till en generator, som anslutes till nätet. Mest tilltalande synes emellertid vara att utnyttja överskottsenergien till ventilationsändamål, varvid endast en tillsatsmaskin erfordras. Då huvudmotorns fältlindning är seriekopplad med regulatormotorns armatur, arbetar denna under mycket gynnsamma förhållanden och bör därför uppvisa en avsevärt högre grad av driftsäkerhet än en motor-generator, direkt ansluten till linjespänningen.

Det kan visas, att om regulatormotorn går med konstant varvtal och med omättat fält, huvudmotorn kommer att få praktiskt taget ren seriekaraktäristik. Vi kunna emellertid även åstadkomma en reglering, som utnyttjar huvudmotorn ännu bättre än seriemotorn och som sålunda gör all shuntning överflödig. Detta erhålles helt enkelt, om man gör regulatormotorn mer mättad i fältet. Tiden medger ej en teoretisk undersökning av dessa förhållanden.

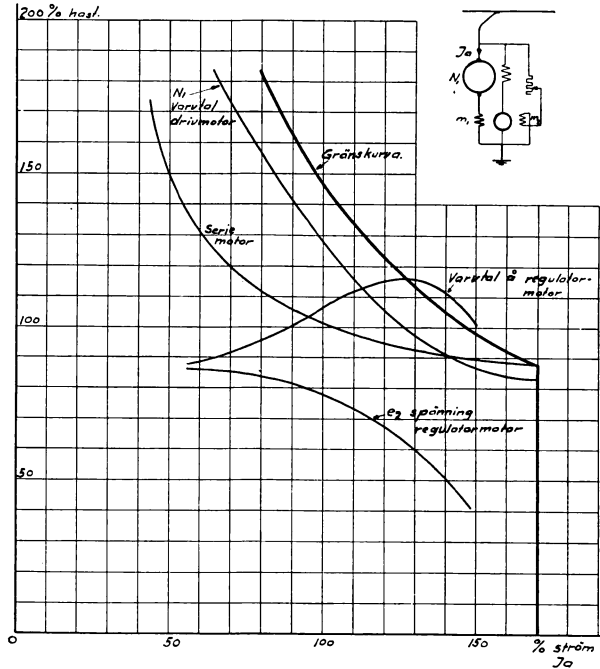


Fig. 6.

För att illustrera anordningens egenskaper, skall jag i stället visa några diagram, upptagna vid provning å Aseas Laboratorium.

Fig. 6 visar karaktäristiken i motordrift. Till jämförelse har även karaktäristiken för en seriemotor samt ovan beräknade gränslinje angivits. Kurvan N_1 visar den uppmätta karaktäristiken vid användande av regulatormotor kopplad till en fläkt. Figuren visar även varvtalsändringen hos regulatormotorn samt spänningsförhållandena å densamma under reglering.

Fig. 7 visar motsvarande karaktäristika vid återbromsning. Som vi se, har bromskurvan ett annat utseende än körkurvan, i det den visar en något fallande ström vid minskning av tåghastigheten. Analyserar man bromskurvan, finner man, att den till en början ger ungefär konstant bromskraft vid olika hastigheter. Den förhåller sig alltså praktiskt taget som en tryckluftbroms.

Genom ändring av strömmen i fältlindning m_2 i regulatormotorn kan vilken som helst önskad bromskraft appliceras, alldeles som fallet är vid en tryckluftbroms.

Önskar föraren bromsa vagnen med en viss kraft, kan han alltså låta bromsningen ske på ett enda bromsläge. Önskar han öka bromsningens styrka, har han endast att flytta bromsorganet i ett nytt läge. Givetvis kan detta organ även användas för nedsättande av motorströmmen

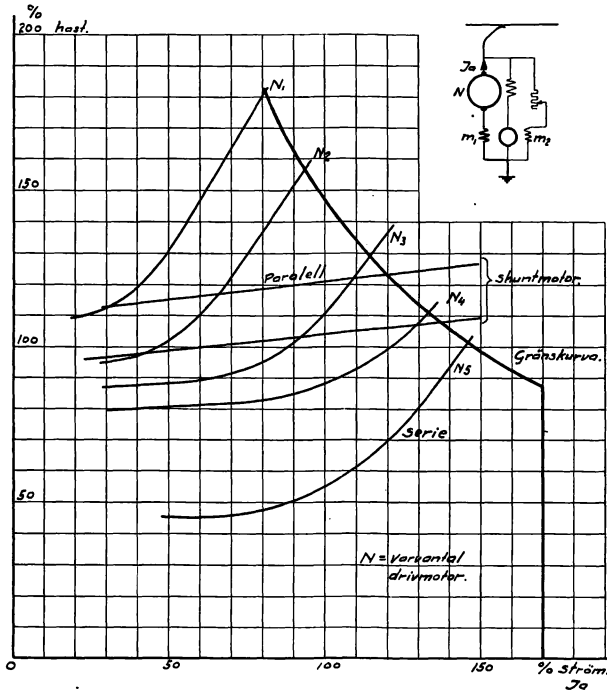


Fig. 7.

vid motordrift, om så önskas, t. ex. i utförsbackar eller vid utlöpning.

Körning skulle alltså kunna tänkas ske på följande sätt: Föraren startar i serie och parallellkoppling, till dess han kommer i körläge, då startmotstånderna äro urkopplade, i vilket läge kontrollerveven får kvarstå, varvid motorn automatiskt anpassar sig efter belastningsförhållandena enligt den karaktäristik, som bestämmes av regulatormotorn. Skulle av någon anledning föraren önska minska motorströmmen, kan han åstadkomma detta utan att behöva röra kontrollerveven, endast genom att manövrera bromshandtaget. Önskar han bromsning, för han handtaget vidare till dess önskad bromsverkan erhålles, fortfarande utan att röra kontrollerveven. Sedan bromsningsmöjligheterna i parallellläget utnyttjats, för han kontrollerveven i serieläge och fortsätter bromsningen i detta läge.

Genom den beskrivna kopplingen har man därför fått en anordning,

som såväl vid körning som bromsning uppvisar goda egenskaper och därjämte medger en enkel anordning för övergång från körning till bromsning.

Emellertid äro icke möjligheterna uttömda härmed. — Bromsverkans storlek är ju direkt beroende av motoreffekten eller, vilket är detsamma, av produkten mellan armaturström och spänning.

Om man nu med hänsyn till kommuteringen ej vill överskrida en viss strömbelastning, är man vid bromsning bunden till en viss bromseffekt. Vid nödbromsning kan emellertid en väsentligt högre bromsverkan vara erforderlig, vilket, då linjespänningen är konstant, skulle tvinga till otillåten strömöverbelastning å motorerna. Man har emellertid i detta fall en annan utväg, nämligen att öka motorspänningen, vilket låter sig göra, om man kopplar in motstånd mellan motorer och linje. Detta ernås ju också helt enkelt därigenom, att vid nödbromsning kontrollveven icke längre bibehålles i körläge utan drages tillbaka över motståndslägena, samtidigt som bromshandtaget manövreras. Startmotstånden komma alltså på ett naturligt sätt att fylla tvenne funktioner, dels att ombesörja start, då kontrollerveven föres i ena riktningen, och dels att ombesörja en effektiv nödbromsning, då kontrollerveven föres i andra riktningen.

Om man tänker efter, bli förhållandena vid nödbromsning i själva verket desamma som vid kortslutningsbroms med seriemotorer, blott med den skillnaden att en del effekt går tillbaka till linjen. Även vid kraftig kortslutningsbromsning erhålles ju dylik överspänning å motorerna och därmed ökad effektivitet hos bromsen, vilket givit kortslutningsbromsen dess goda anseende. Visserligen blir lamellspänningen å motorerna härvid högre, men då spårvägsmotorerna redan nu, just med tanke på kortslutningsbromsen, utföras rikliga i detta hänseende, uppstå inga olägenheter härav, om spänningen bara hålles inom rimliga gränser.

Liksom vid varje system för regenerativ bromsning föreligger en hel del andra detaljproblem, vilka kräva mer eller mindre komplicerade anordningar. Dessa avse i främsta rummet att säkerställa bromsningen, även om återbromsning till nätet ej av skäl för vilka tidigare redogjorts är möjlig, att förhindra strömstötter å motorerna vid snabba spänningsvariationer å linjen samt vid återkoppling m. m. Även i dessa hänseenden har å Asea utarbetats en del nya anordningar, vilka det emellertid för för långt att här gå in på. En beskrivning av dessa detaljer torde i övrigt vara på sin plats, först sedan resultatet erhållits i praktisk drift.

Min förhoppning är, att jag genom föregående orientering lyckats i någon mån belysa en del av de problem, som äro förknippade med införande av den regenerativa bromsningen i spårvägsdrift och ge vissa hållpunkter vid bedömande av frågan, vilken i sin helhet nog får betraktas vara av rätt komplicerad art.